

FACULTE DE MEDECINE DE PARIS

ANNÉE 1934

THÈSE

POUR LE

N° 536

DOCTORAT EN MÉDECINE

(Diplôme d'État)

PAR

René BIDEAU

Né le 6 Février 1908 à Aniche (Nord)

ETUDE

D'UN

ÉLECTRO-AIMANT OCULAIRE

fonctionnant sur

Secteur continu ou alternatif

Président : M. STROHL, Professeur.

PARIS

LIBRAIRIE MÉDICALE MARCEL VIGNE

11 & 13, RUE DE L'ÉCOLE DE MÉDECINE

1934

THÈSE
POUR LE DOCTORAT
EN MÉDECINE

FACULTE DE MEDECINE DE PARIS

ANNÉE 1934

THESE

N°

POUR LE

DOCTORAT EN MÉDECINE

(Diplôme d'Etat)

PAR

René BIDEAU

Né le 6 Février 1908 à Aniche (Nord)

ETUDE

D'UN

ÉLECTRO-AIMANT OCULAIRE

fonctionnant sur

Secteur continu ou alternatif

Président : M. STROHL, Professeur

PARIS

LIBRAIRIE MÉDICALE MARCEL VIGNE

11 & 13, RUE DE L'ÉCOLE DE MÉDECINE

1934

LE DOYEN : G. ROUSSY

I. — PROFESSEURS

	MM.
Anatomie	ROUVIERE.
Anatomie médico-chirurgicale et chirurgie expérimentale.....	PROUST.
Physiologie.....	Léon BINET.
Physique médicale	STROHL.
Chimie médicale	DESGREZ.
Bactériologie	Robert DEBRE.
Parasitologie et histoire naturelle médicale	BRUMPT.
Pathologie et thérapeutique générales	BAUDOUIN.
Pathologie médicale.....	CLERC.
Pathologie chirurgicale	CHEVASSU.
Anatomie pathologique	ROUSSY.
Histologie	CHAMPY.
Pharmacologie et matière médicale	TIFFENEAU.
Thérapeutique	LOEPER.
Hygiène et médecine préventive.....	TANON.
Médecine légale	BALTHAZARD.
Histoire de la médecine et de la chirurgie.....	LAIGNEL-LAVASTINE.
Pathologie expérimentale et comparée.....	FIESSINGER.
Hydrologie thérapeutique et climatologie.....	Maurice VILLARET.
Clinique médicale	ACHARD.
	BEZANÇON.
	CARNOT.
	Marcel LABBE.
Hygiène et clinique de la première enfance	LEREBoullet.
Clinique des maladies des enfants	NOBECOURT.
Clinique des maladies mentales et des maladies de l'encéphale.	H. CLAUDE.
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques.....	GOUGEROT.
Clinique des maladies du système nerveux	GUILLAIN.
Clinique des maladies infectieuses	LEMIERRE.
	CUNEO.
Clinique chirurgicale.....	GOSSET.
	GREGOIRE.
	LENORMANT.
Clinique ophtalmologique.....	TERRIEN.
Clinique urologique	MARION
	BRINDEAU.
Clinique d'accouchements.....	COUVELAIRE.
	JEANNIN.
Clinique gynécologique	J.-L. FAURE.
Clinique chirurgicale infantile et orthopédie.....	OMBREDANNE.
Clinique thérapeutique médicale	RATHERY.
Clinique oto-rhino-laryngologie.....	LEMAITRE.
Clinique thérapeutique chirurgicale.....	Pierre DUVAL.
Clinique propédeutique.....	SERGEANT.
Clinique de la tuberculose.....	Leon BERNARD.
Clinique chirurgicale orthopédique de l'adulte	MATHIEU.
	HOVELACQUE.
	MULON.
Professeurs sans chaire	OLIVIER.
	VERNE.



II. — AGRÉGÉS EN EXERCICE

MM.

ALAJOUANINE. Neurologie et Psychiatrie.
 BENARD (Henri) Pathologie médicale.
 BERNARD (E). Pathologie médicale.
 BOULIN..... Pathologie médicale.
 BROCC..... Pathologie chirurgicale
 BULLJARD..... Histologie.
 CATHALA Pathologie médicale.
 CHABROL Pathologie médicale.
 CHEVALLIER.. Pathologie médicale.
 DOGNON..... Physique.
 DONZELOT Pathologie médicale.
 FEY..... Urologie.
 GALLIARD..... Parasitologie.
 GASTINEL Bactériologie.
 GATELLIER ... Pathologie chirurgicale
 DE GAUDART D'ALLAINES Pathologie chirurgicale.
 GAYET..... Physiologie.
 GIROUD..... Histologie.
 HAGUENEAU... Pathologie médicale.
 HALPHEN..... Oto-rhino Laryng.
 HAZARD..... Pharmacologie.
 HUGUENIN..... Anatomie pathologique
 JOANNON..... Hygiène.
 LABBE (Henri). Chimie biologique.
 LACOMME..... Obstétrique.
 LANTUEJOUL. Obstétrique.

MM-

LAROCHE (Guy) Pathologie médicale
 LEMAIRE..... Pathologie expérimentale.
 LEVEUF Pathologie chirurgicale
 Mlle J. LEVY.. Pharmacologie.
 LEVY-VALENSI Neurologie et Psychiatrie.
 MOREAU..... Pathologie médicale.
 MOULONGUET. Pathologie chirurgicale
 MOUQUIN Pathologie médicale.
 OBERLING..... Anatomie pathologique
 PETIT-DUTAILLIS.. Pathologie chirurgicale
 PIEDELIEVRE . Médecine légale.
 PORTES..... Obstétrique.
 QUENU..... Pathologie chirurgicale
 RICHTER..... Physiologie.
 SANNIE..... Chimie biologique.
 SENEQUE..... Pathologie chirurgicale
 SEZARY Dermatologie et syphiligraphie.
 TROISIÈRE Pathologie expérimentale
 TURPIN..... Pathologie médicale.
 VALLERY-RADOT
 (Pasteur) ... Pathologie médicale.
 VELTER Ophtalmologie.
 VIGNES Obstétrique.
 WILMOTH..... Pathologie chirurgicale

III. — AGRÉGÉS RAPPELÉS A L'EXERCICE pour le service des examens

MM.

ALGLAVE..... Pathologie chirurgicale
 BUSQUET..... Pharmacologie.
 CHAILLEY-BERT Physiologie.

MM.

LEROUX Anatomie pathologique
 NEVEU-LEMAIRE Parasitologie.
 ZIMMERN..... Physique.

IV. — AGRÉGÉS CHARGÉS DE COURS DE CLINIQUE ANNEXE A TITRE PERMANENT

MM.
 ABRAMI Clinique médicale.
 AUBERTIN..... Clinique médicale.
 BRULE Clinique médicale.
 CHIRAY Clinique médicale.
 DUVOIR Clinique médicale.
 HARVIER..... Clinique médicale.
 LIAN Clinique médicale.

MM.
 GUENIOT..... Clinique obstétricale.
 LE LORIER Clinique obstétricale.
 LEVY-SOLAL ... Clinique obstétricale.
 METZGER..... Clinique obstétricale

MM.
 BASSET Clinique chirurgicale.
 CADENAT Clinique chirurgicale.
 HEITZ-BOYER.. Clinique chirurgicale.
 MOCQUOT Clinique chirurgicale.
 MOURE Clinique chirurgicale.
 SCHWARTZ Clinique chirurgicale.

V. — CHARGÉS DE COURS

MM.
 CHAILLEY-BERT, agrégé..... Education Physique.
 FREY..... Stomatologie.
 LEDOUX-LEBARD..... Radiologie clinique.
 WEILL-HALLE Puériculture.

Par délibération en date du 9 décembre 1798, l'Ecole a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées, doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation.

A MONSIEUR LE PROFESSEUR STROHL

PROFESSEUR DE PHYSIQUE MÉDICALE

A LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS,

MEMBRE DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

Qui nous a fait le très grand honneur d'accepter la présidence de cette thèse. Qu'il veuille bien trouver ici l'expression de notre reconnaissance pour le bienveillant intérêt qu'il nous a témoigné.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

INTRODUCTION

LES CORPS ÉTRANGERS INTRA-OCULAIRES

La fréquence des accidents oculaires et en particulier des accidents de travail, — 20 % de ceux-ci ont pour siège l'œil — pose à l'ophtalmologiste un certain nombre de problèmes délicats. La vie moderne et les progrès du machinisme exposent en effet un nombre toujours plus élevé d'ouvriers, de mécaniciens à subir ces traumatismes, et, si beaucoup de ces accidents sont assez bénins, certains et en particulier la pénétration de corps étrangers intra-oculaires présentent une réelle gravité. On a coutume de faire en pareil cas une distinction entre les corps étrangers magnétiques et les corps étrangers non magnétiques.

Les corps étrangers intra-oculaires non magnétiques se présentent bien moins souvent, mais, par contre, l'oculiste ne peut utiliser pour les traiter certains

procédés de diagnostic et d'extraction très efficaces et le pronostic de ces blessures en est assombri. Il est plus difficile de diagnostiquer ces corps étrangers; plus difficile de les localiser et il faut un hasard heureux pour les saisir et les extraire.

Il en est tout autrement pour les corps étrangers magnétiques. Ils sont beaucoup plus fréquents non seulement parce que le fer et surtout l'acier sont beaucoup plus utilisés que tout autre métal dans l'industrie, mais surtout parce qu'il faut au corps vulnérant une énergie, des arêtes vives qui ne sont fournies que par la rupture brusque d'un métal dur. Dans la plupart des cas, en effet, il s'agit d'un fragment d'acier qui se détache et se brise net sous l'action d'un choc par exemple celui d'un marteau sur un burin : c'est là l'accident-type.

Si la fréquence de ces accidents est plus élevée, leur pronostic en est sensiblement meilleur grâce à la plus grande facilité de leur diagnostic et de leur extraction et en cela leur propriété magnétique nous vient en aide.

Diagnostic. — Pour les diagnostiquer, l'oculiste a à sa disposition quatre procédés : l'examen ophtalmoscopique, la radiographie, la sidéroscopie et l'électro-aimant. Chaque procédé présente ses avantages et ses inconvénients et il est évident que plusieurs doivent être mis en œuvre pour arriver au résultat.

Certes l'*examen ophtalmoscopique* qui montre la présence de corps étrangers a une grosse valeur, mais il n'est pas toujours possible par suite d'hémorragies et de troubles du vitré en particulier.

La *radiographie* fournit des renseignements pour tout corps étranger magnétique ou non. C'est un procédé précis qui avec des techniques nombreuses et bien étudiées que nous ne décrirons pas permet une localisation exacte. Elle présente un inconvénient, c'est de ne pas donner de renseignements pour certains corps très petits qui peuvent ainsi passer inaperçus.

La *sidéroscopie*, qui a eu une vogue assez grande pendant un certain temps, est basée sur le principe de la déviation d'une aiguille aimantée par la présence de corps magnétiques. De nombreux systèmes, tous très ingénieux, ont été imaginés pour la réalisation pratique de cet appareil et pour en augmenter la sensibilité (magnétomètre de Gérard, sidéroscope de Gallemaerts, d'Asmus, de Hirschberg).

Mesure de la déviation par un système optique, utilisation d'équipage mobile à aimants multiples, modification de la sensibilité par l'usage d'aimants supplémentaires, utilisation de tubes de cuivre entourant l'aiguille aimantée pour en freiner le mouvement tout a été mis en œuvre pour perfectionner ces appareils et leur donner une sensibilité maxima. Il

semble d'ailleurs que ces appareils soient ou pas assez sensibles — et les petits corps étrangers ne sont pas décelés — ou trop sensibles — et alors les moindres parcelles métalliques qui subsistent dans les cheveux ou les vêtements de l'ouvrier agissent sur l'appareil alors que, bien entendu, toutes les masses métalliques plus importantes ont été éloignées.

Le sidérophone de Janssen est inspiré d'un principe semblable : l'approche d'un corps magnétique d'un enroulement de l'appareil se traduit par un son dans un écouteur téléphonique.

Arrivons maintenant au procédé très simple et très efficace de l'*Electro-aimant* doublement utilisé au point de vue du diagnostic par la douleur caractéristique provoquée par son application sur un œil suspect et au point de vue de l'extraction par l'attraction et la mobilisation des particules magnétiques.

Sans prendre parti pour l'un ou l'autre de ces procédés employés d'une manière exclusive; — ce sujet étant encore à l'heure actuelle discuté, il semble que l'on puisse conclure que la radiographie et l'électro aimant sont les procédés les plus sûrs, les plus pratiques et aussi les plus utilisés et que leur emploi conjugué donne le maximum de sûreté pour le diagnostic de la présence de corps étrangers intra-oculaires.

CHAPITRE PREMIER

LES ÉLECTRO-AIMANTS

Historique ⁽¹⁾. — L'utilisation de l'électro aimant semble remonter à un temps assez éloigné, puisque Vantey, dans sa thèse, nous apprend que l'Ayur Veda de Sucruta dans le livre des Brahmanes relate l'extraction d'une pointe de flèche métallique avec l'aimant.

Plus près de nous, au XVII^e siècle, Fabry, de Hilden, extrait en 1646 un petit éclat de fer des couches superficielles de la cornée avec une pierre d'aimant. Milhas, en 1745, et Morgagni, en 1765, emploient cette méthode et Guérin en parle dans son traité des Maladies des yeux. Puis ce sont Meyer, de Minden, en 1842, Jani, en 1852. Cooper, Rothmund qui utilisent ce procédé. Mac Keown, de Belfast, trace les grandes lignes de l'opération, Hirschberg,

(1) FELDHAUS. L'histoire des opérations oculaires avec l'aimant.

en 1879, crée un appareil et le système est propagé par Pooley, Knapp, Samelshon, Jeffries. En France, Galezowski, en 1881, présente le premier cas d'un corps étranger extrait par l'électro aimant. Il faudrait aussi citer les travaux de Pooley (1886), de Gérard (1890) qui crée le magnétomètre de ce nom, de Haab, de Zurich, en 1892, etc.

Les divers types d'électros. — Beal, dans sa monographie intitulée « Les corps étrangers magnétiques intra-oculaires et leur extraction » (1908), passe en revue les différents types d'électro aimants utilisés.

Une distinction s'impose en premier lieu entre les petits électro-aimants à main munis d'embouts de formes convenables qui travaillent au contact pour la préhension de corps étrangers et les gros électros dits « géants » dont le but est de mobiliser le fragment, soit au point de vue diagnostic par la douleur qu'il provoque, soit pour l'amener sur la brèche créée dans l'œil par l'entrée de corps étrangers ou par une incision du chirurgien.

Ces appareils ont été opposés bien qu'en réalité leur rôle soit tout différent et qu'il semble qu'on doive les utiliser conjointement : le petit muni d'électrodes effilées pénètre dans la cavité de l'œil pour y saisir le fragment métallique et ceci avec tous les inconvénients que peut provoquer l'introduction de l'appareil dans l'œil, mais avec une efficacité maxi-

mum; le gros a l'avantage d'attirer à distance, quand cela est possible, le corps étranger, lui fait suivre un chemin convenable dans les milieux oculaires, mais il reste toujours extra-oculaire.

Le premier ne peut être utilisé pour mobiliser à distance un corps étranger dans un but diagnostic, tandis que le second y parvient aisément. En fait, ces deux types d'appareils se complètent et doivent être utilisés selon les circonstances et les difficultés opératoires, l'un se substituant à l'autre quand il est en défaut; ils n'ont, en effet, ni le même but, ni la même utilisation. Voyons les caractéristiques de ces appareils, leurs avantages et leurs inconvénients.

Les petits électros. — Le petit électro dit de Hirschberg, de forme droite est d'un poids qui permet de l'utiliser à la main. Sa force portante est de 3 à 10 kg. Sous 110 v. l'intensité du courant utilisé est de 0,25 amp. Des nombreux embouts de formes variables permettent son utilisation dans tous les cas. A côté de ce modèle, il faut faire une place à celui de Henrard qui, quoique plus lourd, est encore porté à la main et a une force portante de 15 kg.

Les électros dits « géants ». — Nous ferons une mention spéciale pour l'électro-aimant de *Mellinger*, dit à pôle central, qui procède d'un principe tout différent. Il est constitué par un anneau ovale sur lequel est bobiné l'enroulement, le malade place sa

tête à l'intérieur de l'anneau, c'est-à-dire dans le champ intense qui est ainsi créé. L'extérieur de l'enroulement est entouré par un anneau de fer doux.

L'opérateur armé d'un stylet de fer doux vient à la recherche du corps étranger vivement aimanté par le champ créé par l'enroulement. L'attraction peut être augmentée par l'utilisation en place d'un stylet d'un pôle conique de masse supérieure. Ce système très ingénieux, très puissant aussi, présente quelques inconvénients : le malade ne peut que difficilement être opéré couché, le stylet manié par l'opérateur est vivement attiré et la précision des mouvements est ainsi diminuée. L'appareil n'est que peu utilisé à l'heure actuelle.

Si nous en croyons Beal qui n'envisage pas le côté technique de la question l'appareil consommerait 8 amp. sous 110 v. et 4 amp. sous 220 v.

Un autre groupe d'électros « géants » est celui des électros de *Haab*, de *Schlosser*, de *Mayweg*, de *Schenkel*.

Tous sont des aimants droits, lourds, fixes, montés sur un pied. Tous sont passibles du même reproche : leur utilisation est difficile, car l'aimant est fixe et c'est la tête du malade assis qui doit se déplacer, ce qui n'est pas toujours facile quand on a affaire à un malade indocile. Il est également difficile de bien diriger le corps étranger et de lui faire suivre le trajet

nécessaire. De plus, les règles de l'asepsie peuvent difficilement être respectées avec un malade non couché.

L'électro-aimant de *Haab* a un noyau de fer de 10 cm. de diamètre et de 60 cm. de long. Chaque extrémité est effilée. Deux bobines coniques de fil de 2 mm. créent le champ nécessaire. Chaque bobine pèse 28 kg. 6, l'ensemble pèse 51 kg., l'appareil entier pèse 138 kg. La consommation serait : 6 amp. sous 60 v. Nous trouvons dans le travail de Beal quelques chiffres relatifs à la force attractive selon la distance. Malheureusement, ces données étant incomplètes ne nous renseignent que fort peu. L'aimant de *Schlosser* a 4 cm. de diamètre, 13 cm. de long; il prend 20 a. sous 110 v.

Celui de *Mayweg* aurait 1000 tours de fil, son poids serait 75 kg., sa force portante 70 kg.

L'aimant de *Schenkel* aurait 55 cm. de long porterait 100 kg. et consommerait 20 a. sous 110 v. Son originalité serait son pôle orientable.

L'électro de *Rollet*, décrit en 1910, par la *Revue générale d'Ophtalmologie*, puis étudié plus longuement par son élève Vantey dans sa thèse, doit être mis à part. Son originalité réside dans un effort très net pour augmenter le rendement de l'appareil : il s'agit d'un électro de forme droite et massive cuirassé extérieurement ce qui diminue de façon très

sensible la reluctance du circuit magnétique qui se rapproche d'un circuit fermé. On pourrait d'ailleurs objecter que les lignes de force se ferment par un chemin assez court en dehors de l'œil. Cela est si vrai que l'on a dû construire pour son usage outre la pointe conique classique une autre pointe désaxée.

Le poids est de 70 kg., la consommation 23 a. sous 110 v. Le système de suspension est également original; il est constitué par une sorte de potence placée au-dessus du lit du malade qui soutient l'appareil par l'intermédiaire d'une liaison « cardan » permettant tous les mouvements nécessaires.

Quant à la force portante outre qu'elle n'est qu'un faible critérium lorsqu'il s'agit d'attraction à distance il est difficile d'en avoir une idée. Tout d'abord le chiffre de 350 kg. est prononcé (*Revue générale d'Ophthalmologie*, 1910; *Lyon Médical*, 1914; *Thèse de Vantey*, Lyon, 1911), puis de 1150 à 1410 kg. avec toujours 23 amp. sous 110 v. pendant la guerre où il est utilisé pour l'extraction des éclats d'obus (*Lyon Médical*, p. 307, 1914).

Que croire? D'ailleurs, cette mesure sur un aimant cuirassé avec presque sûrement fermeture des lignes de forces entre noyau et cuirasse par l'armature utilisée ne renseigne que peu et n'aurait aucun point commun avec la même mesure sur un électro-aimant droit type Volkmann par exemple.

L'électro-aimant de *Moreau* ⁽¹⁾ a une force portante de 150 kg. est muni d'une potence et d'un contrepoids et est d'un type assez semblable.

Arrivons enfin à l'électro de *Volkman*n qui semble être, à l'heure actuelle, le plus fréquemment utilisé.

C'est un électro de forme droite, de 1 mètre de longueur, de 5 cm. de diamètre, le fil n'est bobiné qu'à l'extrémité en rapport avec la pointe, le reste du noyau reste découvert. Les spires sont concentrées près de la pointe et le bobinage présente 14 cm. de diamètre à son extrémité polaire contre 10 cm. à l'extrémité opposée.

Dans d'autres modèles, la longueur du fer a été diminuée, mais la section a été, au contraire, augmentée. Actuellement, on trouve dans le commerce des électro-aimants de ce type dont le poids approche 60 kg., la consommation 1,50 a. sous 110 v. et la force portante de 300 kg. Nous ferons non seulement la même réserve que plus haut relativement à la valeur des chiffres indiqués comme critérium, mais encore nous remarquerons qu'en admettant des inductions maxima dans le fer de 18 à 20.000 gauss correspondant à une force de 15 kg. par cm², il faut

300

drat — = 20 cm² de section, chiffre sensiblement

15

(1) MOREAU. *Revue générale d'ophtalmologie*, 1910, p. 92; *Société des Sciences Médicales de Lyon*, 1908.

supérieur aux sections usitées sur ces appareils. Par ailleurs, on n'a aucun intérêt à adopter une section de beaucoup supérieure à celle de l'œil.

Quoiqu'il en soit, cet appareil muni d'un dispositif de suspension avec contrepoids permettant tous les mouvements utiles a conquis la faveur générale par sa maniabilité, son emploi extrêmement commode sur un malade couché qui peut et doit rester entièrement passif. Il est muni de plusieurs embouts, plats, sphériques ou coniques, qui peuvent être démontés et stérilisés.

Tel qu'il est, il représente pour l'oculiste un appareil pratique.

Au point de vue électrique, il semble, comme tous les électros-aimants déjà décrits à l'exception de celui de Rollet, avoir un rendement faible. Sa forme de barreau droit oblige les lignes de forces à effectuer un important trajet dans l'air et d'ailleurs on évite toujours cette forme industriellement : « Etant donné qu'il est impossible de calculer un électro-aimant droit et court, on devra éviter d'employer cet organe dans l'appareillage électrique. Il ne pourrait, en effet, qu'être établi par tâtonnements et on devra, au contraire, chercher à réaliser autant que possible un circuit magnétique fermé » ⁽¹⁾.

Un électro-aimant droit est condamné par les

(1) *L'Electricien*, XXII, p. 345. — CONNOR. Construction des électro aimants.

électrotechniciens et, après les avoir cité, formulons une deuxième critique, celle-là générale : tous ces électros-aimants fonctionnent sur continu; or si ce fait était peu gênant, il y a une trentaine d'années au début de la construction des électros-aimants, à l'heure actuelle, où une énorme majorité de secteurs sont à courant alternatif on se heurte à un sérieux obstacle.

Il faut, en effet, redresser le courant et la plupart des constructeurs proposent aux ophtalmologistes des groupes convertisseurs compliqués, encombrants et coûteux.

Nous avons donc été frappé de deux ordres de faits :

1° L'utilisation d'un circuit magnétique réputé pour son rendement faible;

2° L'absence, au cours d'une enquête menée chez les fournisseurs des Ophtalmologistes, d'électro-aimants fonctionnant sur courant alternatif.

Nous avons résolu d'étudier un électro-aimant pouvant être utilisé sur secteur alternatif et à plus forte raison sur continu et, d'autre part, d'une forme lui donnant les pertes les plus faibles.

C'est l'appareil qui va être décrit au chapitre suivant.

CHAPITRE II

PROJET D'UN APPAREIL DESTINÉ A L'ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

Le fonctionnement sur alternatif. — Le fonctionnement sur alternatif est, à coup sûr, la plus grande originalité de l'appareil que nous avons cherché à réaliser et c'est pourquoi nous commencerons par examiner ce point. Les électro-aimants fonctionnant sur alternatifs ont été utilisés et bien étudiés dans l'industrie, mais leur usage médical ne s'est pas répandu. Citons toutefois un appareil qui fut utilisé pendant la guerre : l'électro-vibreux de Bergonié. Il n'avait d'ailleurs pas pour but l'attraction des corps magnétiques, mais leurs vibrations à travers les tissus ce qui permettait de les localiser et de les extraire après incision. L'appareil avait une forme droite, le noyau feuilleté avait 75 cm. de long et 7 cm. de diamètre, il comportait 250 spires de fil 20/10 et absorbait 23 amp. 5 sous 240 v. Certains appareils furent

même réalisés qui prenaient plus de 50 ampères sous cette tension. C'était là un gros inconvénient. Dans un compte rendu de l'Académie des Sciences ⁽²⁾ son auteur examine « la Puissance absorbée par l'Electro-vibreur », dresse un tableau éloquent entre la puissance apparente et la puissance vraie; puis Omodéi (*Arch. d'Electricité médicale*, 1917, p. 153) fait fait une étude très complète des électro-vibreurs, de leur rendement en fonction de la section du noyau, du nombre de spires et de l'intensité.

Nous avons noté aussi un court article de A. Terson « Sur l'adaptation ophtalmologique de l'Electro-vibreur de Bergonié » dans les *Archives d'Ophtalmologie* de 1916 : « Par contre, dit-il, l'appareil mobilise très fréquemment les corps étrangers les plus petits. Il agit, en somme, dans une certaine mesure comme un électro-aimant géant. En coiffant même son extrémité polaire par un cône métallique interchangeable l'appareil lui devient semblable.

Dès à présent, croyons-nous, l'hôpital qui possède un électro-vibreur bien manié par un ophtalmologiste pourra utiliser cet appareil pour le diagnostic de la nature, la sensibilisation localisatrice, puis l'extraction des corps étrangers de l'œil. »

La guerre terminée, l'électro-vibreur fut oublié. Son adaptation oculaire aussi.

(1) 1915, pp. 535 et 799.

Si des électro-aimants alternatifs n'ont pas été réalisés c'est qu'on se heurte dans leurs constructions à quelques difficultés à savoir : les pertes par courants de Foucault, par hystérésis, l'impédance élevée de l'enroulement due à sa forte self. Examinons successivement chacun de ces points.

Toute pièce métallique soumise à un flux variable, comme c'est le cas pour un électro-aimant alimenté sur alternatif est le siège d'une force électromotrice d'induction qui donne naissance à des courants, les courants de Foucault dont l'effet est d'échauffer considérablement la pièce métallique soumise à ce flux.

Nous n'insisterons pas sur ce point pas plus que sur son remède couramment utilisé en pareil cas : l'utilisation en place de noyaux de fer doux d'un assemblage de tôles de fer minces isolées entre elles.

Une autre cause de pertes dans un circuit à fer excité par courant alternatif est la perte d'énergie par hystérésis.

Ce fait est bien connu et on réduit au minimum ces pertes par l'utilisation de tôles d'acier au silicium.

L'énergie perdue est donnée empiriquement par la formule de Steinmetz :

$$W = V n B^{1,6}$$

V étant le volume du fer, B l'induction et n un coefficient pouvant s'abaisser à 0,0010 pour les tôles d'acier au Silicium.

Nous concluerons donc que, pour éviter les pertes par courants de Foucault et par hystérésis, nous utiliserons des tôles d'acier au silicium de 2/10 de mm. isolées entre elles. Ceci est d'ailleurs banal et on n'agit pas autrement pour la construction de toute machine fonctionnant sur alternatif.

La dernière difficulté est plus délicate. En effet,, on sait qu'en alternatif un enroulement présentant un coefficient de self induction donné L, présente une résistance apparente au courant qui porte le nom d'impédance, qui varie avec la fréquence et dont la valeur est donné par :

$$Z = \sqrt{R^2 + L^2 \omega^2}$$

ω étant égal à $2\pi f$.

Nous devons, par suite, écrire en alternatif :

$$E = I \sqrt{R^2 + L^2 \omega^2}$$

et non $E = IR$ comme en continu.

En fait pour obtenir une intensité de courant suffisante, il faut réduire au maximum la self L. Comment y parvenir ?

Bien qu'il ne s'agisse que d'approximation, on peut dire que L est sensiblement proportionnel à μ perméabilité du fer qui varie avec I, au carré du nombre de tours, à la section S du bobinage et inversement proportionnel à la longueur de l'enroulement.

Il est bien évident que μ , S et I ne peuvent être sensiblement modifiés et d'ailleurs ils sont peu de chose par rapport à N^2 . C'est pourquoi il semble séduisant de s'attaquer à ce terme. Si l'on admet que l'induction dans le fer sera proportionnelle à NI , nombre d'ampère-tours, il est intéressant, à nombre d'ampère-tours égal, d'augmenter I pour diminuer N de telle sorte que $NI = C^{te}$. C'est un procédé rendu facile par la commodité de transformation du courant alternatif; il est facile en effet d'abaisser la tension du réseau et d'obtenir un courant d'intensité élevée; par exemple d'utiliser 20 ampères au lieu de 1 ampère. Ce procédé, à moins d'utiliser d'assez grosses intensités ne semble pas réduire suffisamment la self, il nécessite la présence d'un transformateur supplémentaire pouvant débiter un courant assez intense et nous ne l'avons pas utilisé.

On pourrait aussi proposer un électro-aimant à trois branches; le circuit d'alimentation entourerait seulement les branches extrêmes, la branche centrale formant un pôle conséquent. Un circuit secondaire fermé sur lui-même serait enroulé sur les trois branches, le courant induit dans ce circuit, déphasé sur le courant primaire pourrait modifier le flux, et on conçoit que l'on puisse par le choix de ces enroulements régler ce déphasage de manière à ce que le flux ne s'annule jamais.

Ce procédé utilisé dans l'industrie (Emplois divers

de l'Electricité, p. 113, Baudran révisé par Barbillion, 1 vol.), ne nous a pas paru utilisable.

Nous avons songé à un autre procédé qui nous a paru plus simple et que nous avons adopté.

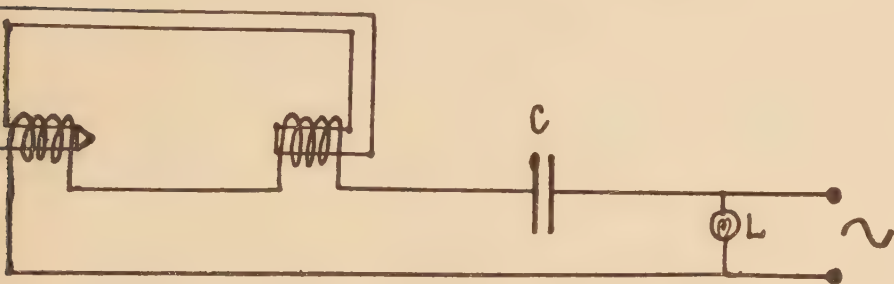


Fig. 1

Il est bien connu en Electrotechnique générale qu'il est un cas où Z devient égale à R , c'est lorsque le système self et capacité en série entre en résonance pour une fréquence donnée. Il est donc facile d'ajouter en série avec notre électro-aimant muni de bobinages conçus sans précautions spéciales une capacité C dont la valeur est fournie par la formule :

$$C = \frac{1}{L \omega^2}$$

ω étant égal à $2 \pi f$: f fréquence du courant, soit 50 périodes.

Dans de telles conditions, le système étant en résonance, l'impédance se réduit à la résistance R de la bobine ; $\cos \varphi = 1$.

Aux bornes de la self et du condensateur en série, on a, effet,

$$E = I \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{C\omega}\right)^2}$$

$$\text{et lorsque } \omega L - \frac{1}{C\omega} = 0, \text{ c'est-à-dire } C = \frac{1}{L\omega^2}$$

On voit que l'on a :

$$E = IR$$

comme en continu. La capacité a compensé la self.

C'est là un procédé simple parfois utilisé dans l'industrie pour l'amélioration du facteur de puissance et très commode depuis que l'on trouve facilement dans le commerce des condensateurs de capacité élevée, fortement isolés et à bas prix depuis le développement de l'industrie radioélectrique (1).

La forme de l'électro. — Le fonctionnement étant théoriquement résolu en alternatif une deuxième question se posait : quelle forme donner à l'électro-aimant ? Certes la forme droite présente une commodité d'emploi maxima mais la dispersion du champ, l'énorme chemin que doivent parcourir dans l'air les lignes de force ne sont pas à son avantage. Au fond le but étant d'obtenir un champ intense il nous a paru préférable d'utiliser un circuit magné-

(1) Un électro vibreur à résonance fut construit sur ce principe en 1916.

tique avec un entrefer dans lequel nous placerions la tête du malade. La réluctance, ou résistance magnétique, d'ailleurs élevée vu les dimensions de l'entrefer, nous semblait plus faible que dans le cas d'un barreau droit. Rappelons ici que dans l'électro de Rollet on a diminué cette réluctance en cuirassant l'électro mais dans ce cas les lignes de forces se joignent par le plus court chemin, sans traverser suffisamment l'espace où se trouve l'œil du malade.

Le but est en effet de soumettre le corps étranger au champ le plus intense possible et à ce sujet il est bon de se souvenir que dans le cas d'un électro-aimant droit, type Volkmann, l'intensité du champ décroît rapidement, grosso modo au moins, comme le carré de la distance.

Nous étant donc arrêté à cette forme les dimensions devaient nous être dictées par celles de la tête humaine et de l'œil.

Nous avons adopté une section carrée de 12 centimètres carrés de 34 millimètres de côté; il nous a en effet semblé inutile d'avoir une surface de beaucoup supérieure au diamètre de l'œil et nous considérons cette surface comme un maximum.

Nous avons laissé, dans notre noyau feuilleté affectant la forme d'un rectangle de 54 cm. $\times$ 20 cm., un entrefer médian de 28 cm., soit 25 cm. avec la pointe mobile; cette dimension nous a paru suffi-

sante pour une tête humaine et l'épaisseur de la têtère en matière isolante de la table d'opération; la distance utilisable à l'intérieur pour y loger la partie supérieure du crâne est ainsi de 13 centimètres.

Nous disposons symétriquement de chaque côté de 9,6 cm. pour y loger deux bobines.

Le calcul peut-il nous renseigner sur l'intérêt d'une telle forme de noyau? Tout dépend de la réluctance du circuit et surtout de l'air ambiant, terme prépondérant.

Dans le cas d'un entrefer comme le nôtre nous ignorons tout de la section qui nous permettrait d'évaluer cette réluctance. En extrapolant une courbe empirique publiée dans l'*Eclairage Electrique* (XLI, p. 418) par Benischke « La réluctance magnétique des entrefers » nous avons pu avoir un ordre de grandeur de 300 à 350 cm². Cela correspondrait grossièrement à ce que nous donne le spectre magnétique.

Pour ce qui est du barreau droit la difficulté est encore plus grande, on considère d'ailleurs généralement le calcul d'un aimant droit comme impossible. Anfossi (Sur la réluctance d'un aimant rectiligne (XV, p. 257, l'*Eclairage électrique*) nous donne quel-

1

ques formules empiriques dont celle-ci $R = 0,169 \frac{l}{a}$

a

à demi-longueur du barreau; Janet dans ses Leçons

d'électrotechnique générale, p. 94, donne un tableau qui d'ailleurs ne donne de renseignements que pour des rapports longueur-diamètre du barreau supérieur à 10. Il en conclut toutefois que « dès que la longueur du cylindre surpasse 100 fois son diamètre la réluctance de l'air ambiant varie en raison inverse de la simple longueur du cylindre ».

Ce n'est donc finalement qu'expérimentalement que nous pensons justifier ou rejeter cette forme.

Les bobinages. — Nous arrivons ainsi à l'étude des bobinages.

Les calculer présente de très grosses difficultés étant donné le nombre d'inconnues du problème. La première inconnue est à coup sûr le but à obtenir : nous ne savons pas, en effet, la valeur du champ à réaliser, de même pour le flux ; nous n'avons même aucune idée du champ obtenu avec les autres électro-aimants.

La force portante qui aurait pu servir à la rigueur comme terme de comparaison est un critérium de peu d'intérêt pour une attraction à distance : en fait, notre forme se prête peu à une telle évaluation et nous avons vu que les plus grandes divergences existent à ce sujet : 150, 200, 300 kilogs sont des chiffres indiqués par les constructeurs. Nous avons vu qu'ils nous semblaient un peu élevés.

Si nous avons su quel champ et quel flux obtenir

nous aurions appliqué la formule des circuits magnétiques :

$$\Phi = \frac{F}{R}$$

Φ flux, F force magnéto-motrice, R réluctance, soit dans notre cas :

$$\Phi = \frac{1,25 \text{ NI}}{\frac{L}{\mu S} + \frac{l}{\mu' S'}}$$

S' section du noyau, S section de l'entrefer, L longueur du circuit de fer, l longueur de l'entrefer, μ et μ' perméabilité des milieux ici $\mu = 1$, NI nombre d'ampère-tours.

On voit ici que le terme $\frac{L}{\mu S}$ est petit par rapport

à $\frac{l}{\mu' S'}$, nous nous proposons, en effet, de faire tra-

vailler le fer assez loin de la saturation et nous avons en dénominateur un terme très élevé. On voit donc que le premier terme est négligeable devant le deuxième, réluctance de l'entrefer; comme, de plus, nous n'en connaissons pas la section, nous concluons en disant que c'est là tout ce que la formule peut nous apprendre.

Il nous fallait donc là encore avoir recours à

l'expérience et expérimenter sur un enroulement d'essai. Pour déterminer sa valeur nous avons décidé de prendre pour point de départ la consommation de l'appareil. Il nous a semblé que nous pouvions, par comparaison avec l'appareil de Volkmann le plus employé à l'heure actuelle, prendre les chiffres de 150 à 200 watts.

Nous avons donc choisi à priori : $I = 1,3$ ampères

$$110$$

pour $U = 110$ v et par suite $R : \text{---} = 84$ ohms.

$$1,3$$

La densité de courant habituelle de 3 ampères par mm^2 nous a paru pouvoir être facilement portée à 5 ampères et même 7 ampères par mm^2 . Nous avons donc choisi un fil de $5/10^{\text{e}}$ de mm. de diamètre, soit 0,19 mm. de section. En effet, l'appareil devant fonctionner pendant des temps très courts nous avons la possibilité de négliger dans une certaine mesure les questions d'échauffement.

En appliquant la formule : $R = \rho \frac{l}{s}$

d'où

$$l = \frac{R}{\rho} = 1.000 \text{ mètres environ}$$

l étant la longueur du fil à utiliser.

Il convenait de bobiner ce fil sur un carré de 3,4 cm. de côté. Pour pouvoir expérimenter d'une

manière commode nous avons convenu de bobiner deux enroulements de 500 mètres et de ne pas dépasser un diamètre extérieur de 8 cm. 5.

En prenant pour dimension intérieure du bobinage 3,6 on aura pour longueur d'une spire moyenne

$$L = 25 \text{ cm. environ}$$

soit pour 500 mètres de fil :

$$N = \frac{500}{0,25} = 2.000 \text{ tours de fil.}$$

En prenant pour diamètre extérieur 8,5 et pour diamètre du fil isolé : 1 mm. on aura environ 25 couches de fil. Comme il nous faut placer 2.000

$$\text{spires de fil nous devons utiliser } \frac{2.000}{25} = 80 \text{ spires}$$

par couches ce qui nous donne une longueur de bobinage de 80 mm., dimension qui cadre bien avec la longueur prévue sur notre noyau.

Nous avons donc fait construire deux bobinages de 80 mm. de long de 2.000 spires chaque de fil 5/10^e de mm. de diamètre isolé deux couches coton.

Expérimentalement sa résistance s'est montrée de :

$$R = \frac{120}{1,44} = 83 \text{ ohms.}$$

Son impédance Z sur le secteur est :

$$Z = \frac{207}{0,22} = 940 \text{ ohms.}$$

les deux bobines étant en série et disposées en opposition.

Pour terminer l'étude de l'appareil disons un mot de la pointe en acier doux dont nous l'avons muni.

Nous avons bien entendu négligé les courants de Foucault dans ce bloc de petite dimension dont la longueur est d'environ 3 cm., l'angle au sommet 70°, — nous verrons qu'il devra être modifié — et qu'une sorte de gorge avec boulon de serrage permet de fixer au noyau.

Un autre point important est la question de l'étincelle de rupture. On sait, en effet, qu'à la rupture d'un circuit présentant une self comme c'est le cas ici il y a production d'un courant dont l'énergie peut être assez grande lorsqu'on a dans le circuit une self importante.

La force électromotrice moyenne est donnée par

$$\frac{LI_0}{t}$$

t durée de l'extra courant de rupture étant très courte.

L

Disons un mot de la constante de temps — rap-
R

port du coefficient de self induction de la bobine à sa résistance.

Dans le cas qui nous occupe, les deux bobines étant en série à chaque extrémité de l'entrefer, L peut être calculé puisque nous connaissons R et Z on a en effet :

$$L = \frac{\sqrt{Z^2 - R^2}}{\omega} = 3 \text{ Henrys}$$

et

$$\frac{L}{R} = \frac{3}{83}$$

Un dispositif simple nous a permis d'éviter les surtensions à la rupture : une lampe à incandescence est branchée en parallèle avec la self et le condensateur, elle absorbe l'énergie et brille d'un vif éclat au moment de la rupture en même temps qu'elle sert de lampe témoin et indique le fonctionnement de l'appareil. Ajoutons enfin que le poids de l'appareil est de 13 kilogs, chiffre sensiblement inférieur à celui des électro-aimants actuels.

Nous avons donc réalisé l'appareil ainsi décrit dont l'étude expérimentale fera l'objet du chapitre suivant : nous verrons l'enseignement que nous devons en tirer pour ce qui est de la forme du circuit magnétique, des bobinages et nous étudierons les différences de fonctionnement l'appareil étant alimenté en continu et en alternatif.

CHAPITRE III

ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

Dans ce chapitre nous allons décrire une série d'expériences réalisées dans le triple but :

1° D'établir un parallèle entre le fonctionnement sur courants continu ou alternatif;

2° D'étudier si la forme du noyau présentait un avantage ou un inconvénient;

3° De déterminer si l'enroulement était ou non suffisant et, le cas échéant, quel devait être l'ordre de grandeur approximatif du nouveau bobinage proposé et enfin si la position adoptée pour ces bobines était ou non judicieuse.

§ 1^{er}. *Le fonctionnement sur alternatif.*

Nous avons en premier lieu cherché à mettre l'électro-aimant en résonance. Nous avons à notre disposition un courant de fréquence 50 et de tension

107 volts. Le calcul de la valeur de la self de la bobine connaissant l'impédance et la résistance de la bobine donne :

$$L = \sqrt{\frac{Z^2 - R^2}{\omega}} = 3 \text{ Henrys}$$

La capacité nécessaire devait être en appliquant la formule :

$$C = \frac{1}{L\omega^2} = 3,4 \text{ microforads}$$

En fait, ce calcul ne saurait qu'être approximatif vu les variations de la self avec l'intensité traversant les enroulements. Nous avons pu réaliser la résonance avec de 3,6 à 3,7 microfarads. A ce moment nous avons obtenu une intensité de 0,95 ampère sous 107 volts, chiffre sensiblement différent de l'intensité de 1 amp. 44 obtenue en continu sous 120 volts il est vrai. Même en tenant compte des différences de tension il semble qu'on ait en alternatif une perte pouvant être difficilement évitée et que nous avons attribué à un défaut d'isolement des condensateurs. Nous avons réalisé l'accord à l'aide de petites capacités de 0,005, 0,01 et 0,1 microfarad et il nous a semblé que l'accord d'ailleurs peu « aigu » pouvait pratiquement se faire à $1/10^e$ microfarad près.

Ce point étant fixé et étant donné l'augmentation de la résistance en fin d'expériences par suite de la chaleur dégagée, — nous rappelons ici que l'appar-

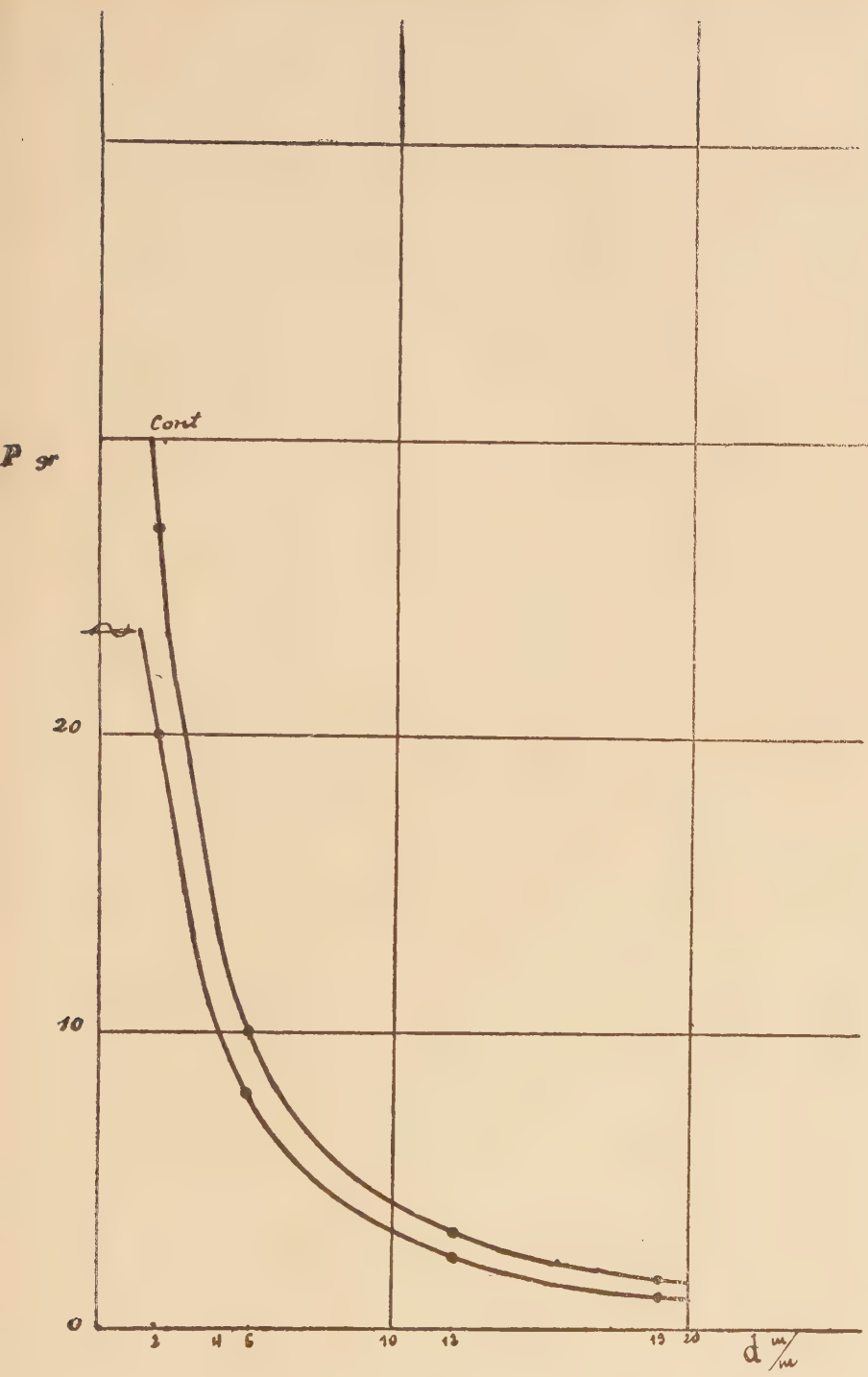


Fig. II

reil devant pratiquement fonctionner pendant des temps très courts nous avons calculé très juste la section du fil — nous avons fixé l'intensité du courant en continu comme en alternatif à 0,83 ampères au moyen d'un rhéostat.

Forces attractives. — Nous avons mesuré la force attractive à distance variable dans les deux cas. Pour cela nous avons placé l'appareil verticalement et utilisé le pôle inférieur. Une balance de cuivre présentait devant ce pôle une petite masse de fer de 4 mm. de diamètre et de 5 mm. de long, l'équilibre était obtenu par des poids placés dans un plateau suspendu à l'autre extrémité du fléau. Des butées limitaient la course. Plusieurs mesures faites de 2 mm. à 20 mm. nous ont donné les deux courbes de la figure 2. On voit que la courbe correspondant au fonctionnement en courant continu présente une très légère supériorité sur l'alimentation en alternatif. Ajoutons que le flux n'étant pas constant en alternatif la masse est attirée puis relâchée 100 fois par seconde, ce qui rend la mesure difficile. Il semble qu'au moment où l'intensité alternative passe par un maximum le corps soit attiré avec une force maxima. Mais au moment où le flux s'annule l'équilibre est rompu, la masse métallique s'éloigne dans une zone où l'attraction est moindre; le véritable équilibre n'est obtenu que lorsque le corps métallique n'a pu

s'éloigner que d'une distance minime telle qu'il peut être « repris » à la demi-période suivante.

Cette expérience nous donne donc une idée des différences entre les forces attractives en continu et en alternatif mais elle ne nous place pas dans les conditions d'utilisation, c'est-à-dire quand aucune force directement opposée ne s'exerce sur le corps étranger si ce n'est son propre poids et le frottement dû aux milieux.

Attraction de corps de poids différents. — Une autre expérience devait être réalisée : la mesure de la distance à laquelle se fait l'attraction de masses de dimensions différentes. Nous avons réalisé une première série d'observations sur des corps dont les dimensions étaient très atypiques. Certains avaient une longueur égale au diamètre, d'autres sept fois plus faible. Nous n'avons pas obtenu ainsi des courbes régulières et nous avons par la suite expérimenté sur des billes d'acier dont la régularité de formes nous a permis de dresser les courbes que l'on verra. Toutefois, les résultats obtenus lors de nos premières observations nous permettent de dire :

1° Que les corps sont d'autant plus vivement attirés que leur forme est plus allongée;

2° Qu'en attraction verticale dans l'air la légère diminution observée avec des corps massifs tend à s'annuler quand on utilise des corps allongés qui sont

attirés à des distances sensiblement égales en continu et en alternatif.

Il semble qu'on doive ici tenir compte de la résistance de l'air qui joue, à un moindre degré d'ailleurs le même rôle que la gélouse dans les expériences suivantes où on note une augmentation des distances attractives en faveur de l'alternatif. Nous admettrons plus loin que dans ce cas nous utilisons l'intensité maximum du courant et que le recul du corps étant « freiné » par la gélouse celui-ci peut-être « repris » à la demi-période suivante et ainsi attiré. Au contraire, dans l'air un corps massif subit un recul important qui a une grosse influence sur l'attraction puisque celle-ci varie en raison inverse du carré de la distance.

Avant d'aller plus loin dans cette étude signalons que l'importance de la forme des corps attirés a été mise en relief dans des expériences de Rollet citées dans la *Revue générale d'ophtalmologie* : « De l'extraction des corps étrangers intra oculaires par l'électro-aimant. » Il conclut à un gros avantage créé par la forme allongée, ce qui semble assez logique. Les corps attirés s'aimantent par influence et les masses magnétiques $+m$ et $-m$ des extrémités sont d'autant plus importantes que les corps étrangers sont plus effilés. Le même auteur a également insisté sur la nature des corps étrangers magnétiques.

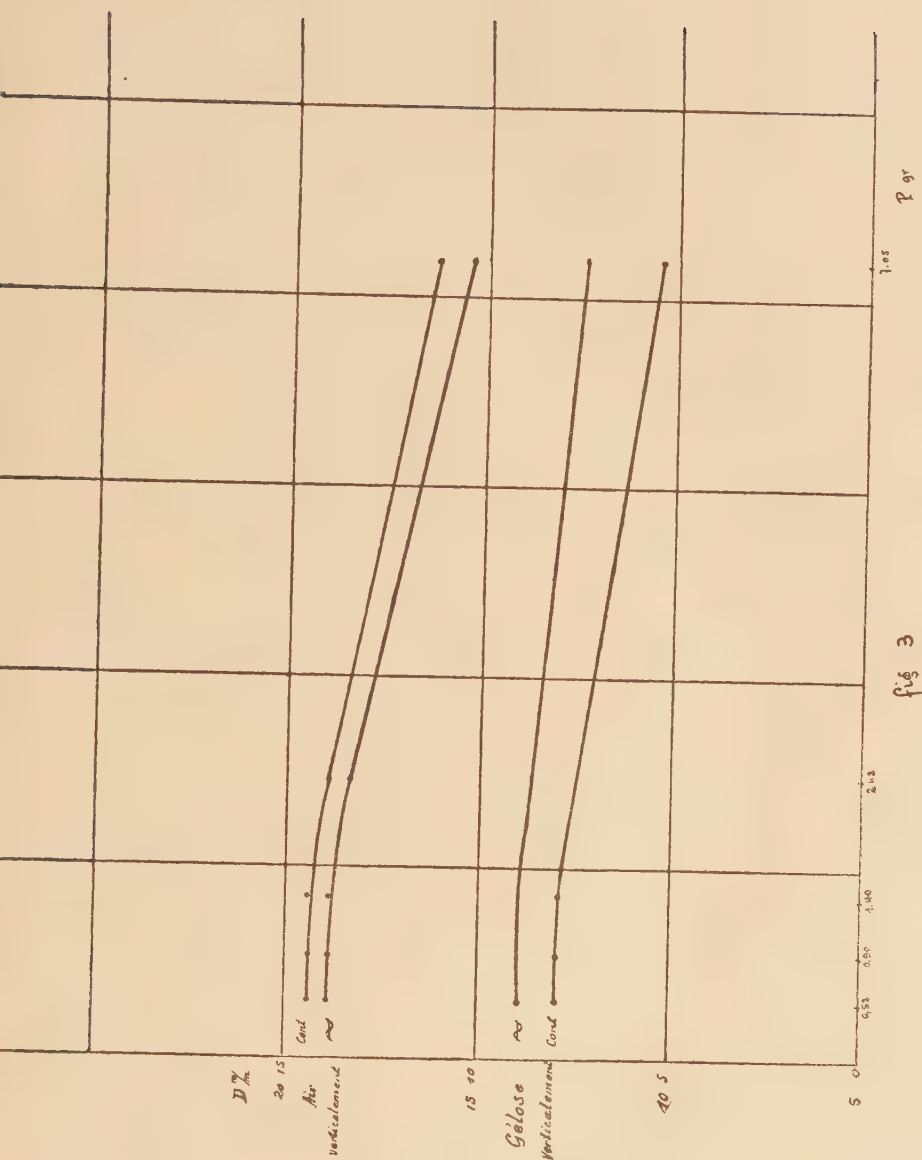


fig 3

Certains alliages utilisés dans l'industrie seraient peu ou pas magnétiques ce qui diminuerait dans de grosses proportions la puissance attractive : telles seraient les ferros manganèse, cupro silicium, silico-aluminium, etc... Une paillette d'acier doux de 1 centigramme étant attirée à 105 mm., une paillette de même poids d'acier au nickel ne le serait plus qu'à 40 mm. Il est à peine utile de faire remarquer l'importance de ces faits vu la fréquence de ces aciers dans les pièces de machines.

Nous avons donc continué notre étude par l'attraction de billes de dimensions variables. Les billes avaient respectivement : 5, 6, 7, 8,5 et 12 mm. de diamètre et pesaient 0,52, 0,90, 1,40, 2,42 et 7 gr. 05.

Nous avons là encore utilisé un support à crémail- lère qui nous permettait de diminuer progressive- ment la distance entre bille et pièce polaire. Une règle graduée nous donnait la distance exacte à la- quelle se faisait l'attraction. Nous avons ainsi obtenu une courbe montrant une légère diminution de puissance pour le courant alternatif. Ces faits sont d'ailleurs en accord avec l'expérience de la balance (fig. 3).

Nous avons également disposé les billes sur une glace parfaitement horizontale et nous avons de même mesuré les distances d'attraction. Ici, au contraire,

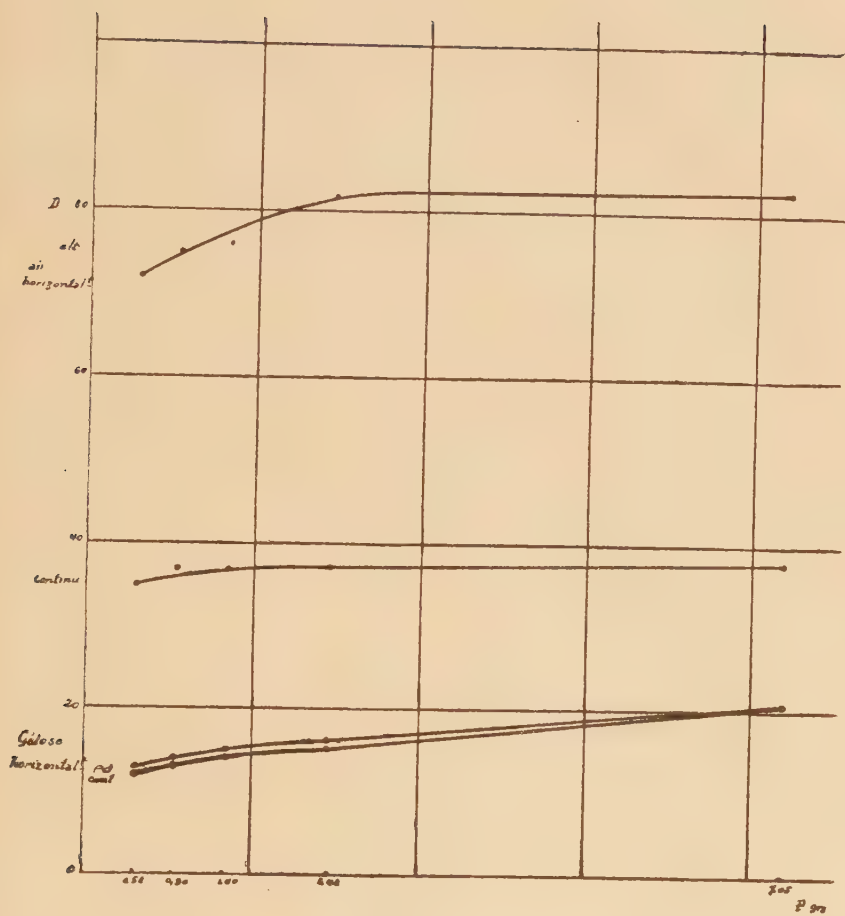


Fig. IV

on a une très notable augmentation de la distance d'attraction en faveur de l'alternatif. En effet, les forces qui s'opposent au déplacement de la bille sont très minimes et réduites aux frottements. La bille n'est repoussée par aucune force au moment où l'intensité est nulle et l'intensité maxima du courant est ainsi utilisée. La bille, entraînée par l'énergie acquise, se meut vers le pôle pendant la période d'intensité nulle. L'avantage est ici très marqué.

Nous avons préparé par tâtonnement un milieu de gélose dont la consistance nous a paru un peu supérieure à celle de l'humeur vitrée et tel qu'une bille soumise qu'à son propre poids ne s'enfonçait au fond que très difficilement. Nous avons répété les attractions verticales et horizontales, les billes étant dans ce milieu.

Les courbes obtenues dans les deux cas montrent un net avantage en faveur du courant alternatif (fig. 4).

En attraction horizontale le fait ne nous surprend pas étant donné les résultats obtenus dans l'air, toutefois la différence continu-alternatif est diminuée très sensiblement par suite des forces de frottement dans ce milieu visqueux.

En attraction verticale il semble que là encore la viscosité du milieu empêche la bille attirée par le flux maximum de s'éloigner au moment où celui-ci s'annule.

Elle est par suite reprise à la demi-période suivante sans avoir eu le temps de s'éloigner comme dans l'air et par suite de se retrouver soumise à un champ moins intense. De là la légère augmentation de la distance attractive. Ainsi donc la supériorité du courant alternatif se manifeste dans trois cas sur quatre et en particulier dans les cas qui sont les plus proches des conditions d'utilisation.

Enregistrement. — Nous avons réalisé une autre expérience : une petite masse de fer était placée dans une gélose près du pôle de l'électro-aimant, un fil attaché à la masse de fer était relié à un style inscripteur. Plusieurs enregistrements furent exécutés en alternatif et en continu.

Ils montrèrent une courbe affectant la forme d'une parabole de pente sensiblement pareille dans les deux cas mais avec un léger retard au départ pour le courant alternatif que nous avons attribué aux frottements du système qui ne nous permettait pas d'utiliser l'augmentation de force due à l'intensité maximum.

Attraction de fils. — Nous avons réalisé pour nous rapprocher des conditions d'utilisation des attractions de fils de 0,9 mm. de diamètre et de 1,3 et 7 mm. de longueur.

Plongés dans un milieu de gélose ils ont été attirés verticalement à 15, 20 et 32 mm. en alternatif et à 14, 19 et 30 mm. en continu.

L'attraction horizontale donnant pour les mêmes corps 12, 14 et 18 mm. en alternatif et 11, 13 et 15 en continu. Donc là encore avantage très net.

L'oscillographe de Dufour nous a donné aussi un moyen d'apprécier et de comparer les flux alternatifs et continus.

On sait que les rayons cathodiques ont la propriété d'être déviés par les champs magnétiques, il semble donc élégant d'étudier leur déviation dans ces deux cas. Pour cela nous avons approché de l'oscillographe, à une distance d'ailleurs assez grande vu la sensibilité de l'appareil (50 cm.), l'électro-aimant excité sous 0,9 ampères en continu et en alternatif.

En continu nous avons obtenu une déviation qui s'est traduite par une droite parallèle à l'axe; en alternatif nous avons une sinusoïde dont les maxima correspondent aux intensités maxima du courant. En un mot nous avons une reproduction de l'action des flux magnétiques absolument comparable à la reproduction d'un courant alternatif et la droite représentant l'action du courant continu correspond à l'intensité efficace de celui-là.

L'amplitude de la déviation en courant continu est de 15 mm., en courant alternatif de 21 mm., ce qui correspond bien à la valeur $I \sqrt{2}$.

Les flux sont donc absolument comparables aux intensités.



Oscillogramme

Par ailleurs l'existence d'un flux maximum en courant alternatif concorde bien avec nos observations d'attractions déjà exposées.

§ 2. *La forme de l'appareil.*

L'utilisation du courant alternatif étant ainsi légitimé il convenait de vérifier si la forme que nous avons donné à l'appareil était bien la meilleure. Pour cela nous avons monté le dispositif suivant : un petit cylindre de fer auquel était suspendu par de minces fils une sorte de plateau en carton léger dans lequel on pouvait mettre des poids était placé à des distances croissantes de la pointe grâce à des cales de verres de hauteurs variables. On mettait des poids dans le plateau jusqu'à rupture de l'équilibre. Un tel dispositif avait l'avantage sur le système de la balance déjà utilisé de fixer la distance du pôle au cylindre attiré d'une manière indiscutablement fixe, point très important puisque la force attractive varie comme le carré de la distance. L'équipage au complet pesait 4 gr. 5. L'intensité du courant était de 0,83 ampères.

Nous avons procédé à quatre expériences : avec une bobine et un noyau de fer de 13 cm.; avec une bobine placée à l'extrémité d'un circuit de fer droit de 90 cm. environ; avec notre dispositif à entrefer

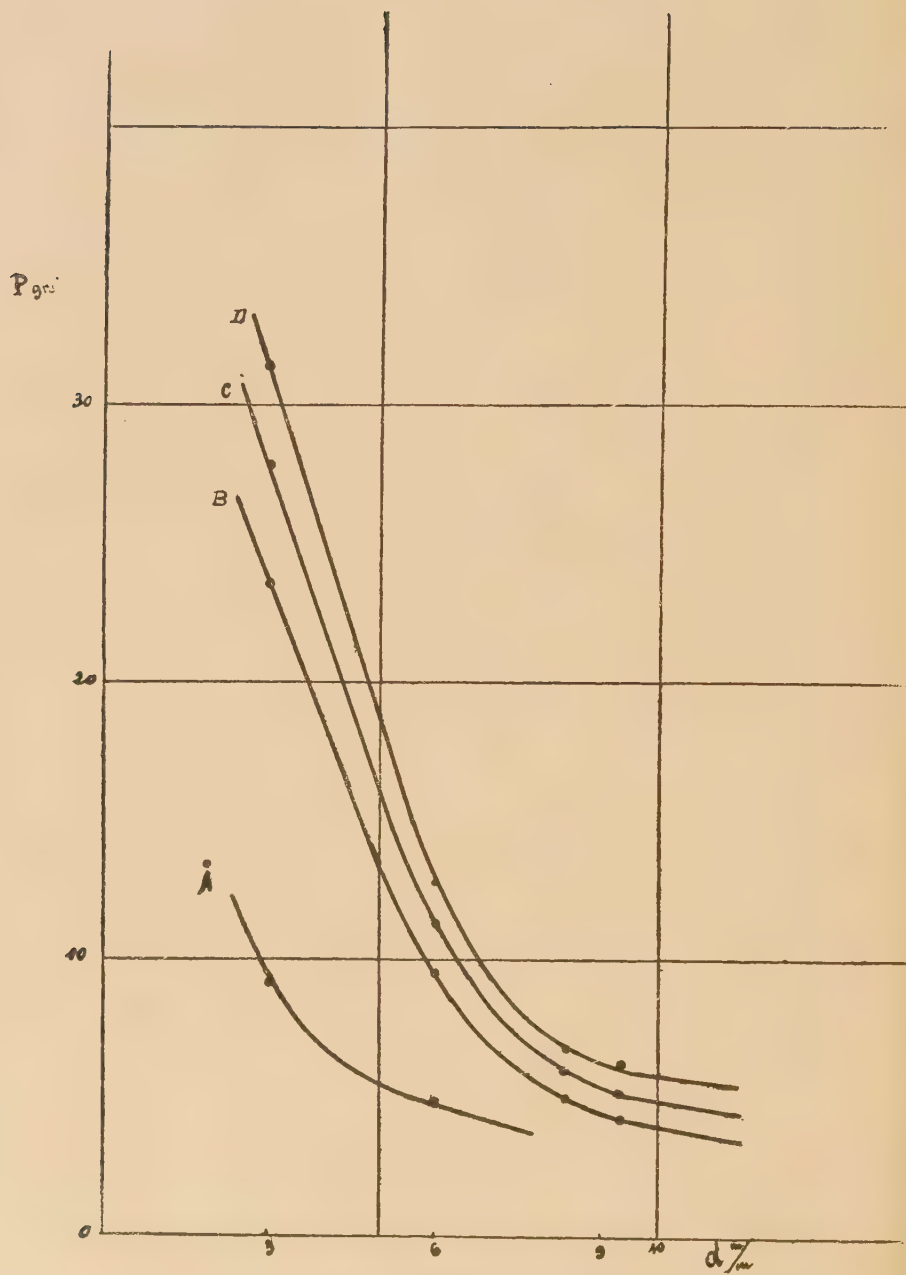


Fig. V

mais une seule bobine fonctionnant; avec le même dispositif et deux bobines.

Nous avons ainsi obtenu quatre courbes A, B, C, D qui nous ont montré : l'énorme avantage de l'utilisation d'un noyau de grande longueur (B) : ceci ne nous surprend pas étant donné que la réluctance d'un barreau rectiligne est inversement proportionnelle à la longueur du barreau (fig. 5).

L'avantage très sensible obtenu avec notre système « à entrefer » qui fait passer l'attraction de 23 gr. 6 à 30 gr. 6 à nombre d'ampère tours égal. Enfin l'utilisation de deux bobines sur ce même circuit n'a pas donné une augmentation très sensible de force attractive à courte distance (31 gr. 6 au lieu de 28) ; cette différence est proportionnellement plus élevée à 9,4 mm. : 5 gr. 3 au lieu de 6 gr. 4. Nous concluons donc : la forme du noyau est justifiée et nettement avantageuse mais il convient d'étudier l'emplacement de bobines donnant les meilleurs résultats et d'examiner si le cas échéant une bobine unique avec un nombre de tours double ne conviendrait pas mieux.

L'emplacement des bobines. — Pour cela nous avons utilisé le même dispositif que précédemment mais avec un plateau de 1 gr. 5 (fig. 6).

Nous avons obtenu les quatre courbes A, B, C, D dans les cas suivants : avec une bobine, avec deux

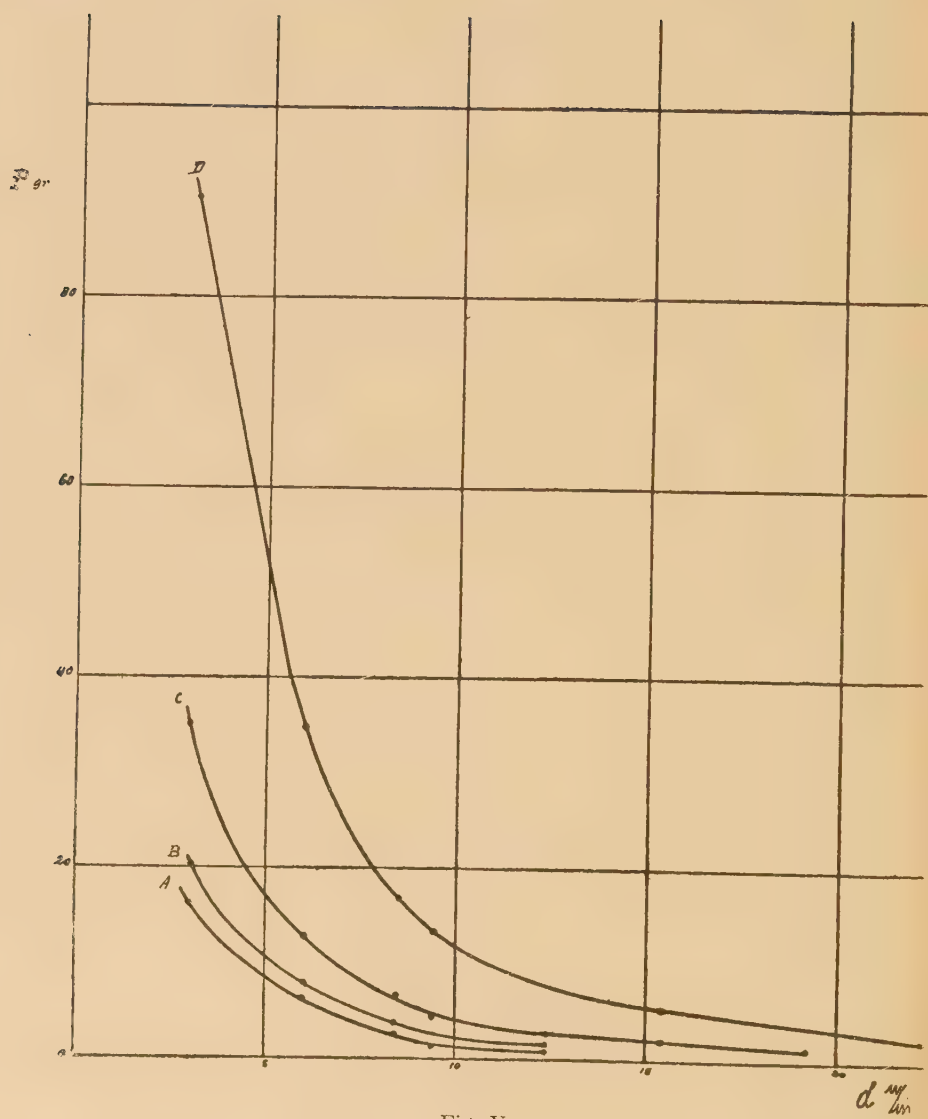


Fig. V.

bobines à chaque extrémité de l'entrefer; avec deux bobines en série accolées puis enfin avec deux bobines accolées en parallèle ce qui permettrait d'augmenter temporairement l'intensité du courant et par suite le nombre d'ampères tours. L'intensité fut portée à 1,9 ampère soit 3,8 pour les deux bobines. Les expériences furent menées assez rapidement pour éviter un échauffement dangereux des bobinages et nous permirent d'avoir une idée des résultats possibles avec un nombre d'ampères-tours environ double.

L'examen de ces trois courbes nous montre donc : un faible avantage pour l'utilisation de deux bobines comme précédemment, un très net avantage pour le système de deux bobines accolées, avantage qui aurait été encore plus grand si au lieu de ces deux bobines nous avions disposé d'un bobinage unique équivalent plus massé.

Nous avons, en effet, une longueur de bobinage de $2 \times 8 \text{ cm.} = 16 \text{ cm.}$ d'un diamètre de 9 cm. seulement, diamètre beaucoup trop grand qui en diminue le rendement.

L'examen de la courbe D montre une augmentation presque double de la force attractive.

Nous avons expérimenté également sur des fragments de fil de 1 mm. de diamètre et de 6 mm. de long. Ils sont attirés dans l'air à 62 mm. sous 1,4 am-

père, les deux bobines étant en série; à 96 mm. les deux bobines accolées étant en parallèle sous $1,9 \times 2$ ampères.

Il semble que la combinaison : bobines accolées $I = 3,8$ ampères soit 1,9 ampères par bobine correspondant environ au double de notre chiffre d'ampères-tours donne une valeur suffisante à l'attraction; elle se rapproche des forces attractives des appareils type Volkmann du commerce et paraît plutôt leur être légèrement supérieure : un fil de même caractéristique que celui sur lequel nous avons expérimenté est attiré sur ces appareils à 90 mm.; sur le nôtre à 95 mm.

Pour conclure, ce chiffre de $4.000 \times 1,9 = 7.500$ ampères tours nous paraît suffire pour réaliser un appareil de force normale, toutefois nous proposons le chiffre de 10.000 qui nous permettra avec cet appareil de 15 kilogs environ d'obtenir des résultats supérieurs à ceux des appareils courants.

La bobine sera, bien entendu, unique et le plus rapprochée possible de la pointe.

Toutefois nous n'éliminons pas définitivement la forme primitive à deux bobines de notre appareil d'essai. Si en restant dans des chiffres voisins de 7 à 10.000 ampères tours la bobine unique présente un intérêt indiscutable, il n'en serait pas de même si nous nous propositions de réaliser un électro-aimant

très puissant. Il est, en effet, une question primordiale, c'est celle de l'encombrement, il ne convient pas, en effet, d'utiliser des bobines de dimensions telles que la visibilité de l'œil sur lequel on opère soit très diminuée. Si on se rappelle que la différence entre l'usage de une et de deux bobines est beaucoup moins marquée à distance il paraîtrait élégant dans ce cas de revenir à l'emploi de deux bobines et de diminuer l'encombrement au niveau de l'œil d'une façon très sensible.

Nous n'insisterons pas sur les modifications à faire subir au noyau pour utiliser une ou deux bobines.

Disons quelques mots des *spectres magnétiques*; dans les deux cas avec deux bobines nous obtenons un spectre régulier renflé en fuseau au milieu de l'entrefer. Avec deux bobines accolées ensemble le spectre se disperse bien entendu beaucoup plus mais à faible distance de la pointe, à 2 ou 3 cm. il ne semble pas qu'il y ait de différences notables.

La pointe. — La pointe également a retenu notre attention; son intérêt est d'ailleurs surtout « médical »; son rôle est nécessaire à un triple point de vue :

1° Pour la visibilité, afin de ne pas rapprocher de l'œil un noyau de grande surface qui cacherait une grande partie de l'œil;

2° Pour avoir une électrode dont l'usage soit com-

mode pour aller au contact de l'ouverture pratiquée dans l'œil par le corps vulnérant ou par l'oculiste;

3° Enfin pour posséder une pièce amovible pouvant être stérilisée.

Au point de vue magnétique on ne saurait trop compter sur une grosse amélioration par un meilleur groupement des lignes de forces et cela surtout quand on opère avec un angle assez aigu. Dans ce cas, en effet, l'usage d'une pointe n'a guère que le résultat d'éloigner le corps étranger de la bobine d'une quantité qui peut être assez importante (2 à 3 cm.) sans présenter de gros avantages.

Nous avons expérimenté en continu et en alternatif notre appareil muni ou non de sa pointe. Nous avons régulièrement constaté une diminution de la distance attractive. Nous avons utilisé des fils de 1 mm. de diamètre et de 1,3 et 7 mm. de long.

Ils sont attirés verticalement en alternatif à 15, 22 et 33 mm. sans pointe et à 14, 20 et 28 mm. avec pointe.

En continu ils sont attirés à 14, 21 et 32 mm. sans pointe et à 13,5 19 et 26 mm. avec pointe.

Il en est de même pour les billes : la bille de 6 mm. est attirée en gélouse verticalement à 14 en alternatif avec pointe et à 17 sans pointe.

En somme, nous devons choisir une pointe aussi peu aiguë que possible pour éviter les pertes. Un

angle de 90° semble bien préférable à celui de 70° qui a servi à nos expériences.

Un bon procédé serait de mettre sur une même droite : pointe, extrémité du noyau, et extrémité du bobinage; on aurait ainsi une excellente visibilité.

Conclusion. — Pour en terminer avec cette étude expérimentale résumons l'enseignement que nous pouvons en tirer :

1° Le courant alternatif peut être substitué au continu pour l'alimentation des électro-aimants oculaires avec des résultats sensiblement égaux, dans certains cas même supérieurs.

2° La forme à entrefer que nous présentons est plus favorable que la forme droite.

3° Le bobinage devra être unique sauf au cas où l'encombrement rendrait la visibilité très difficile.

4° Le chiffre de 10.000 ampères tours semble pouvoir rendre l'appareil supérieur aux électros couramment utilisés.

5° La pointe à angle aigu sans intérêt électrique sera remplacée par une pointe à angle de 90° au maximum.

6° On ne négligera pas enfin l'absorption de l'étincelle de rupture par une résistance (une lampe à incandescence) branchée aux bornes de la bobine.

7° Vu son faible poids (13 kilogs) nous rendrons son utilisation facile en le suspendant au plafond de

la salle d'opération par un système : contrepoids-poulie destiné à remplacer l'excellent mais compliqué dispositif utilisé sur les appareils type Volk-mann.

CONCLUSIONS

La fréquence des accidents causés par les corps étrangers intra-oculaires impose l'utilité de l'électro-aimant comme moyen de diagnostic et d'extraction.

Par ailleurs l'installation d'électro-aimant fonctionnant sur courant continu est compliquée et coûteuse sur la plupart des secteurs qui sont alimentés par le courant alternatif. Notre appareil, on l'a vu, fonctionne au moins aussi bien en milieu visqueux, dans les conditions normales d'emploi, sur alternatif que sur continu. Il est d'ailleurs pour employer un terme consacré un appareil « universel » pour tous courants. Sa forme permet une augmentation de puissance sensible par rapport aux aimants droits usuels, et son poids de 13 kilogs en fait, comparé aux 50 kilogs des aimants déjà construits, un appareil facilement transportable.

Nous espérons qu'il pourra rendre service aux ophtalmologistes tel qu'il est, mais nous nous pro-

posons d'étudier ultérieurement un électro-aimant de grande puissance dont l'utilisation puisse donner les meilleurs résultats dans les conditions les plus difficiles.

Vu, le Doyen,
ROUSSY.

Vu, le Président de la Thèse,
STROHL.

Vu et permis d'imprimer :
Le Recteur de l'Académie de Paris,
S. CHARLÉTY.

BIBLIOGRAPHIE

- ANFOSSI. — Sur la réluctance d'un aimant rectiligne, *L'Eclairage Electrique*, XL, p. 25.
- ALIAMET. — Electro-aimant pour oculiste. *L'Electricien*, XIX, p. 393.
- ARCELIN. — Augmentation de puissance de l'électro-aimant médical par la construction de parties polaires avec des alliages de fer et de cobalt, *Lyon Médical*, pp. 143, 313, 1932.
- BAZY. — Electro vibreurs, *Bulletin et Mémoires de la Société de Chirurgie de Paris*, 1916, p. 1426.
- DU BOIS. — Electro-aimant pour l'obtention de champs intenses, *La Lumière électrique*, LII, p. 140.
- Electro - aimant semi - circulaire, *L'Eclairage électrique*, XXIII, p. 258.
- BENISCHKE. — La réluctance magnétique des entrefers, *L'Eclairage Electrique*, XLI, p. 418.
- BEAL. — L'extraction des corps étrangers intra-oculaires.

- BARY. — Sur le calcul des enroulements d'électros, *L'Industrie Electrique*, II, p. 430.
- BERGONIÉ. — Compte rendu de l'Académie des Sciences, 1915, p. 448.
- Recherche et local des proj. magn. par l'électro-aimant alimenté au moyen du courant alternatif.
 - Nouvelle méthode pour la recherche des projectiles magnétiques, *Archives d'Electricité Médicale*, p. 88.
 - L'électro-vibreux à résonance, *Archives d'Electricité Médicale*, 1916, p. 216. Compte rendu de l'Académie des Sciences, 1916, p. 5.
 - La mobilisation dans les tissus de projectiles magnétiques par des séances répétées d'électro-aimant, *Archives d'Electricité Médicale* de Bordeaux, 1915, p. 255.
 - *Archives d'Electricité Médicale* de Bordeaux, pp. 130, 125, 157, 95, 1915 et 1916.
 - La puissance absorbée par l'électro-vibreux. Compte rendus de l'Académie des Sciences, 1915, pp. 735, 799.
- BERGONIÉ et GUILLAUME. — Instruments de chirurgie adaptés à l'électro-vibreux. Compte rendus de l'Académie des Sciences, 1916, p. 117.
- BERGONIÉ. — Le repérage des projectiles magnétiques par l'électro-vibreux, *Gazette des Sciences médicales de Bordeaux*. 1915, p. 111.
- BERCHÉ. — Pratique et théorie de la T. S. F.

BOLL. — L'électron.

BAUDRAN et BARBILLON. — Emplois divers de l'électricité.

BRANDT, DARMEGIN, DU ROUSSET. — Sur une forme nouvelle d'extrémités polaires pour électro-aimants à applications chirurgicales. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 1915, p. 169.

BOY DE LA TOUR. — Sur la force portante des électro-aimants. *L'industrie électrique*, IX, p. 10.

CERAELLATI. — Nota clinica sull'utilità dell'elettromagnete gigante come strumento diagnostico. *Ann. di clin. ocul.*, Roma, 1922.

CONNOR. — Note sur la construction des électro-aimants. *L'Electricien*, XXII, p. 344.

COURDERC. — Les corps étrangers magnétiques de la papille. *Thèse Lyon*, 1930.

CURCHOD. — Problèmes d'électrotechnique.

DARY. — Les séparateurs magnétiques. *L'Electricien*, XIX, pp. 181-199.

DOR. — Supériorité des petits électro-aimants sur les gros pour l'extraction des corps étrangers. *Lyon Médical*, 1919, p. 606.

DANIEL. — L'électro-aimant comme appareil de levage. *L'éclairage électrique*, t. VII.

DUBUS. — Emploi de l'électro-aimant en thérapeutique oculaire. *Thèse de Paris*, 1899.

- FABRE. — Les séparateurs magnétiques. *L'Electricien*, XXXI, pp. 100-121.
- FETTE. — The iron clad electro magnet for surgical purposes. *Lancet Clinic Cicinn.*, 1914.
- FELDHAUS. — L'histoire des opérations oculaires avec l'aimant.
- FERY. — Etude sur les électro-aimants. *L'Eclairage Electrique*, XVI, p. 318.
- FROLICH. — Sur l'électro-aimant. *La Lumière Electrique*, LI, pp. 238-293-343.
- FRÆLICH. — Un électro-aimant. *Klin. Monat f. Aug.*, 1881.
- FÖPPL. — Sur les circuits magnétiques. *La Lumière Electrique*, XL, p. 338.
- FRANCK. — L'électro-aimant dans les ateliers modernes. *L'Electricien*, XXVII, p. 17.
- GARGAIN DE MONCEY. — L'Electricité.
- GALLEMAERTS. — Nouveau modèle de magnétomètre. *Ann. Opht.*, Paris, 1911, p. 497.
- GRANAL. — L'électro-aimant en thérapeutique oculaire. Thèse de Montpellier, 1934.
- GRADDLE. — A Hand Magnet of inner pole type. *Ann. of Surgery St-Louis*, 1916, p. 724.
- GOSSART. — L'électro-aimant à courant alternatif, 1 volume.

GUENÉE. — Applications industrielles des électro-aimants, XVII, p. 463. *Bulletin de la Société Internat. des Electriciens.*

GUILBERT. — De la théorie du circuit magnétique déformable. *Revue générale d'électricité*, 11 nov. 1922, 23 oct. 1926.

— Sur le calcul de l'attraction des électro-aimants. *Revue générale d'électricité*, 11 nov. 1927.

GRASSY. — Calcul de la puissance absorbée par les courants de Foucault dans les conducteurs. *L'Eclairage électrique*, XVIII, p. 307.

HARANG. — Electricité industrielle. Problèmes élémentaires avec schémas, 1 vol.

HAUDIÉ. — Cours d'électricité générale de l'Ecole Navale.

HERMANN. — Expériences sur les pertes dans le fer sous l'effet de champs tournants et alternatifs. *L'Eclairage Electrique*, XLIV, p. 467.

HOLBORN. — Aimantation du fer et de l'acier dans les champs magnétiques faibles. *L'Eclairage électrique*, XII, p. 422.

HOPKINSON. — Force exercée par un électro-aimant sur son armature. *La Lumière électrique*, II, p. 491.

HOWE. — Form of Haab Magnet. *Buffalo. M. J.*, 1899-1900. NS, XXXIX.

HIRSCHBERG. — Un nouvel électro-aimant. *Cent. f. Aug.*, 1904, pp. 743-746.

JANET. — Problèmes et exercices d'électricité générale.

— Leçons d'électrotechnique générale, 3 vol.

JURNISTCHEK. — Electro-aimant à pôle interne. *Zeit. f. Aug.*, nov. 1905, p. 426.

JACQUEAU. — Electro-aimant et parcelles métalliques intra-oculaires. *Lyon Médical*, 1928, p. 386.

KIBBE. — Electro-aimant fonctionnant à l'aide du courant continu de 110 volts. *Arch. of Opht.*, 1899, p. 148.

LAMASTER. — Stronger eye Magnet. *Tr. Am. Opht. Soc. Phila.*, 1915, p. 168.

LEORAT. — Quelques applications nouvelles des électro-aimants à courant continu ou alternatif. *Lyon Médical*, 1917, p. 72.

LEHMANN. — Calcul de l'attraction magnétique. *Revue générale d'électricité*, 29 novembre, 6 décembre 1919, p. 754.

LIÉNARD. — Calcul de l'attraction magnétique lorsque la loi de Maxwell est insuffisante. *Revue générale d'électricité*, 20 octobre 1923, XIV, p. 563.

MANSEBRGH-VARLEZ. — Sur le magnétisme induit dans le fer par des courants oscillants rapidement. *L'Eclairage électriq.*, XXXII, p. 437.

MARAGLIANO. — Ulteriori osservazioni sull' elettro-vibratore. *Gaz. d. osp. Milano*, 1915, p. 1223.

MOREAU. — Nouvel électro-aimant. *Soc. des Sc. Méd. de Lyon*, 16 déc. 1908; *Revue générale d'ophthalmologie*, 1910, p. 92.

MELLINGER. — L'électro-aimant à pôle interne. *Zeit. f. Aug.*, 1909.

MONOD. — *Compte rendu de l'Académie de Médecine*, p. 298.

NÉCHITCH. — Expérimentations sur la construction d'électro-aimants géants. *Annales d'Oculistique*, juillet 1929.

NOGIER. — Magnétomètre simple pour l'estimation de la puissance de l'électro-vibreux. *Archives d'électricité médicale de Bordeaux*, 1916, p. 246.

OMODEI. — Recherches sur les électro-vibreurs. *Archives d'électricité médicale de Bordeaux*, 1917, p. 153.

PALAZ. — Les électro-aimants. *La Lumière électrique*, XXXIV, pp. 401-457-512-565-618; XL, pp. 69-104.

PÉCHEUX. — *Electricité industrielle*, 1 vol.

PICOU. — Loi de l'attraction magnétique à distance. *Bulletin de la Société Internationale des Electriciens*, 2^e série, VII, pp. 307-327.

- POIREAU. — Sur un électro-aimant alimenté par courants interrompus. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, p. 206.
- RAVEAU. — Sur les champs magnétiques intenses. XL, p. 410, *La Lumière électrique*.
- ROLLET. — Un nouvel électro-aimant pour l'extraction des corps étrangers. *Revue Générale d'Ophthalmologie*, p. 244; *Lyon Médical*, 11 oct. 1914.
- SALIS. — *Thèse Paris*, 1919.
- SAUTER. — Aimantation d'un tore par une bobine ne le recouvrant qu'en partie. *L'Eclairage électrique*, XIV, p. 39.
- SCHIEMANN. — Calcul de la puissance mécanique des électro-aimants. *L'Eclairage électrique*, XXXIV, p. 471.
- SCHIRMER. — Expériences faites avec l'aimant à pôle interne. *Zeit f. Aug.*, p. 546, 1908.
- STEINMETZ. — Sur le courant magnétique. *La Lumière électrique*, XXXIX, pp. 325-380.
- TAYLOR JONES. — Sur la force électro-magnétique ou force portante des électro-aimants. *L'Eclairage électrique*, III, p. 89.
- TEMPLE. — Les corps étrangers magnétiques intra-oculaires. *Montpellier Médical*, 5 oct. 1933.
- THOMPSON SYLV. — Electro-aimants à courants alternatifs. *La Lumière électrique*, LII, pages pp. 458-588.

— Les électro-aimants, 1 vol.

TERSON. — Sur l'adaptation ophtalmologique de l'électro-vibreux. *Archives d'Ophtalmologie*, 1916.

THREEFALL ET MARTIN. — Sur une méthode approximative pour trouver les forces agissantes dans les circuits magnétiques. *Lumière électrique*, LIII, p. 187.

TURCK. — Recherches sur les aimants oculaires. *Arch. of ophtal*, XXXI, p. 141.

VANTEY. — Nouvel électro-aimant pour l'extraction des corps étrangers magnétiques. *Thèse de Lyon*, 1911.

VOLKMANN. — Théorie de l'électro-aimant. *Kl. Monat f. Aug.*, 1902, p. 1.

VIGNERON. — *Encyclopédie électrotechnique*. Induction et courants alternatifs. Magnétisme.

WHARTON. — Giant Magnet Opht. *Rev. Lond.*, 1905, p. 345.

WOOGET et SARRIAU. — Sur une méthode d'observation et de mesure des phénomènes périodiques rapides. *Arch. d'élect. méd.*

WIRTZ. — Electro-aimant de Mellinger monté en suspension. *Wochen. f. Ther. u. Hyg. Auges*, 1908.

Imp. F. BOISSEAU, 34, rue du Taur. — Toulouse

